

潤滑技術

COMPUTER에 의한  
潤滑油의 粘度 混合(II)

韓國動力資源研究所  
金容河, 崔益綬

첫 호에서의 粘度와 溫度의 관계 및 混合成分의 粘度와 造成에 따른 混合潤滑油의 粘度와 溫度의 관계를 살펴본 것에 이어 이번 호에서는 일정한 粘度의 潤滑油 제조를 위한 各成分의 混合比率와 潤滑油의 粘度指教 계산에 대해 살펴보고자 한다.

1) 일정한 粘度의 潤滑油를 제조하고자 할 때 各成分의 混合比率

일정한 粘度의 潤滑油를 제조하고자 할 때 各成分의 混合比率 산정은 첫 호에서 언급한 混合된 潤滑油의 各成分에 대한 溫度에 따른 粘度와 造成을 알 수 있을때 混合된 潤滑油의 粘度와 溫度의 관계를 산정하는 것이 逆으로 볼 수 있다.

이 方法의 기본원리는 API 11A4.3에 따르며 ASTM D341-77에 의한 粘度와 溫度의 관계를 이용하고 있다.

여기에서의 多成分中 2 가지 成分에 대한 混合比率만이 변수로 작용하는 경우에 한하므로 기타 성분에 대해서는 成分比率이 밝혀져 있다. 따라서 成分변수로서의 最小성분의 수가 2 가지 이지만 기타 성분의 수에 대해서는 상한 한계 계가 없는 것으로 한다.

(1) program內的 수학적 관계

변수로 작용하는 두 成分의 부피%는 다음과 같이 정의된다. 즉,

$$f_1 = \frac{(1 - \sum_{i=1}^N f_i) (A_2 - Y_T) / B_2 + \sum_{i=1}^N f_i (A_1 - Y_T / B_1 - \log_{10} T)}{(A_2 - Y_T) / B_2 - (A_1 - Y_T) / B_1} \quad (1)$$

$$f_2 = 1 - f_1 - \sum_{i=3}^N f_i \quad \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $f_i$  = 成分 i의 부피 %

$A_i$  = 成分 i의 ASTM D341의 A 상수

$B_i$  = 成分 i의 ASTM D341의 B 상수

$N$  = 成分의 數

$Y_T = \log_{10} \log_{10} Z_T$

$Z_T$  = 混合 潤滑油의 粘度합수

(ASTM D341-77의 부록 참조)

$T = Z_T$ 에 해당하는 粘度에 대한 溫度(°K)

첫 호에서 설명한 바와 같이 ASTM D341-77의 A, B 상수와 식 (1)과 (2)에 따라 成分 1과 2에 대한 混合比率이 계산되면 이로부터  $f_1/B$ 와  $f_1 A_1/B_1$  값이 계산 가능하며 따라서 混合 潤滑油에 대한  $A_B$ 와  $B_B$ 의 값이 다음과 같이 산출된다.

$$B_B = 1 / \sum (f_i / B_i) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$A_B = \sum (f_i A_i / B_i) / \sum (f_i / B_i) \quad \dots\dots\dots(4)$$

混合 潤滑油의 粘度는  $A_B$  및  $B_B$  상수와 이에 해당하는 溫度,  $T$ 에 대한  $Z$ 값을 다음 식에 따라 구하므로써 이로부터 예측 할 수 있다.

$$Z = 10^{10} (A_B - B_B \log_{10} T) \quad \dots\dots\dots(5)$$

일반적으로 API 방법은 순수성분 보다는 석유화학물질에 적용성이 높으며, 이에 대한 적정 점도범위는 ASTM D341-77에서 규정하도록 0.21 ~  $2 \times 10^7$  cst이다.

(2) Program 과 적용 예

[Program 1]

```

10 ! VISCOSITY- TEMPERATURE RELAT
    IONSHIP USING ASTM D341-77
11 ! ESTIMATION OF THE COMPOSITI
    ON REQUIRED TO GIVE A BLEND
    OF SPECIFIED VISCOSITY
12 !
20 ! DIM VIS (5,2), C(5,2), D(5.2), E(5.2),
    F(5.2), G(5,2), H(5.2), Z(5.2), A
    (5), B(5), T(5.2), V(5)
22 !
24 Vis(1,1) = 116
25 Vis(1,2) = 13.1
26 Vis(2,1) = 179
27 Vis(2,2) = 35.6
28 Vis(3,1) = 230
29 Vis(3,2) = 19.9
30 Vis(4,1) = 317
31 Vis(4,2) = 24.2
32 !
33 Vis(5,1) = 250 !TARGET VISCOSITY
34 !
35 T(1,1) = T(3,1) = T(4,1) = 273.15 + 40
36 T(2,1) = 273.15 + 60
37 T(1,2) = T(2,2) = T(3,2) = T(4,2) =
    273.15 + 100
38 T(5,1) = 273.15 + 40
40 !
60 FOR I = 1 TO 5
61 FOR J = 1 TO 2
70 C(I,J) = EXP(-1.14883 - 2.65868 *
    Vis(I,J))
80 D(I,J) = EXP(-.00381308 - 12.5645 *
    Vis(I,J))
90 E(I,J) = EXP(5.46491 - 37.6289 * Vis
    (I,J))
100 F(I,J) = EXP(13.0458 - 74.6851 *
    Vis(I,J))
110 G(I,J) = EXP(37.4619 - 192.643 * Vis
    (I,J))
120 H(I,J) = EXP(80.4945 - 400.468 * Vis
    (I,J))
130 NEXT J
131 NEXT I
140 !
151 FOR I = 1 TO 5
160 FOR J = 1 TO 2
170 Z(I,J) = V is (I·J) + 7 + C(I,J)
    D(I,J) + E(I,J) - F(I,J) + G(I,J) - H
    (I,J)
180 NEXT J
181 NEXT I
182 !
184 V(3) = .25
185 V(4) = .25
186 V(5) = V(3) + V(4)
187 !
189 Zt = Z(5,1)
190 Yt = LGT(LGT(Zt))
270 !
271 FOR I = 1 TO 4
280 B(I) = (LGT(LGT(Z(I,1))) - LGT(LGT(
    (1,2)))) / (LGT(T(1,2)) - LGT(T(1,1)))
290 A(I) = B(I) * LGT(T(1,1))
    (LGT(Z(I,1)))
291 NEXT I
292 !
293 V(1) = ((1 - V(5)) * (A(2) - Yt) B(2) + V(3)
    * (A(3) - Yt) / B(3) + V(4) * (A(4) - Yt) / B(4)
    - LGT(T(5,1))) / ((A(2) - Yt) / B(2) - (A(1)
    - Yt) / B(1))
294 V(2) = 1 - V(1) - V(5)
295 !
296 Bx = Ax = Bb = Ab = 0
297 FOR J = 1 TO 4
298 Bx(J) = V(J) / B(J)
299 Bx = Bx + Bx(J)
300 NEXT J
301 Bb = Bb + 1 / Bx
304 FOR I = 1 TO 4
306 Ab = Ab + A(I) * V(I) / B(I) / Bx
307 NEXT I
308 PRINT
309 PRINT "V 1 ="; SPA(2); V(1) * 100;
    SPA(2); "%"
310 PRINT "V 2 ="; SPA(2); V(2) * 100;
    SPA(2); "%"
311 PRINT "V 3 AND V 4 ARE TO
    BE 25% BY VOLUME EACH"
312 PRINT
313 PRINT
314 PRINT
315 PRINT "A ="; SPA(2); Ab

```

```

316 PRINT "B=" ;SPA(2); B b
317 PRINT
318 PRINT
320 !
325 INPUT "TEMPERATURE=", Temp
327 PRINT "TEMPERATURE="; SPA(2);
    Temp
330 Z = 10^(10^(Ab-Bb*LGT (Temp +273.
    15)))
335 Vis = Z - .7 - EXP (- .7487 - 3. 295 *
    (Z - .7) + .6119 * (Z - .7)^2 - .3193 *
    (Z - .7)^3)
340 PRINT "VISCOSITY="; SPA(3); Vis
341 PRINT
342 PRINT
343 PRINT
345 INPUT "ADDITIONAL SOLUTION
    WANTED, IF YES TYPE 1, IF
    NO TYPE 2", R
346 IF R=1 THEN GOTO 325
347 IF R=2 THEN STOP
350 END
    
```

[Program 1의 output]

```

V 1 =27.0142808553 %
V 2 =22.985719145 %
V 3 AND V 4 ARE TO BE 25% BY VOL-
    UME EACH
    
```

```

A=8.69618507428
B=3.33211212556
    
```

```

TEMPERATURE=40
VISCOSITY=250.000000098
    
```

```

TEMPERATURE=60
VISCOSITY=88.8240016104
    
```

```

TEMPERATURE=80
VISCOSITY=39.7863562056
    
```

```

TEMPERATURE=100
VISCOSITY=21.065506913
    
```

2) ASTM D2270-79에 따른 粘度指數의 계산

粘度指數(Viscosity Index : VI)는 潤滑油의 溫度에 대한 粘度의 변화율을 나타내는 수치로서 溫度가 상승하는 경우, 粘度변화가 작을수록 粘

度指數가 높게되며 양호한 粘度-溫度특성을 갖게 된다. 粘度指數는 점도변화가 작은 파라핀계 潤滑油를 100, 점도변화가 가장 큰 나프텐계 潤滑油를 0으로 하여 다음식에 따라 산출하고 있다. 즉,

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

여기서 U=40℃에서의 潤滑油의 動粘度(cst)  
 L=100℃에서 潤滑油와 같은 粘度를 갖는 VI=0인 潤滑油의 40℃에서의 動粘度(cst)  
 H=100℃에서 潤滑油와 같은 粘度를 갖는 VI=100인 潤滑油의 40℃에서의 動粘度(cst)

粘度指數를 구하는 방법은 ASTM D2270-79로써 규정되어 있으며 L 및 H값은 계산도표에서 구하게 된다.

粘度指數가 100 이상인 경우에는 VI의 값이 반드시 적정한 粘度와 溫度의 특성을 나타내지 않으므로 이러한 경우에는 Viscosity Index Extension (VIE)이 ASTM에서 다음과 같이 규정되고 있다.

$$VIE = \frac{(\text{Antilog } N) - 1}{0.0075} + 100 \dots\dots\dots (7)$$

여기서  $Y^N = H/U$  또는  $N = (\log H - \log U) / \log Y$   
 Y = 100℃에서의 潤滑油의 動粘度(cst)

(1) Program內的 수학적 관계

粘度指數의 범위에 관계없이 일반적인 VI의 값은 다음식에 따라 계산된다.

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

여기서 L과 H는 다음과 같이 Y 값에 대한 2차방정식으로 정의된다. 즉,

$$L = aY^2 + bY + c \dots\dots\dots (9)$$

$$H = dY^2 + eY + f \dots\dots\dots (10)$$

계산방법은 먼저 40℃와 100℃에서의 潤滑油의 動粘度에 따라 L과 H값의 기본데이터로부터 Y값에 대한 2차방정식의 상수를 구하고 이로부터 L과 H값을 계산한 후 이를 식 (8)에 대입하여 VI값을 구한다.

(2) Program과 적용例

```

[program 2]
10 ! CALCULATING VISCOSITY INDEX
    FROM KINEMATIC VISCOSITY AT
    40 AND 100 °C
20 ! ASTM D2270-79
30 !
40 INPUT "VISCOSITY AT 40 C=", U
50 INPUT "VISCOSITY AT 100 C=", Y
51 FIXED 3
60 PRINT "VISCOSITY AT 40C=";
    SPA(2); U; SPA(2); "cst"
70 PRINT "VISCOSITY AT 100 C=";
    SPA(2); Y; SPA(2); "cst"
75 PRINT
80 !
81 IF (2 <= Y) AND (Y < 2.2) THEN
    251
90 IF (2.2 <= Y) AND (Y < 3.8) THEN
    260
100 IF (3.8 <= Y) AND (Y < 4.4) THEN
    290
110 IF (4.4 <= Y) AND (Y < 5) THEN
    320
120 IF (5 <= Y) AND (Y < 6.4) THEN
    350
130 IF (6.4 <= Y) AND (Y < 7) THEN
    380
140 IF (7 <= Y) AND (Y < 7.7) THEN
    410
150 IF (7.7 <= Y) AND (Y < 9) THEN
    440
160 IF (9 <= Y) AND (Y < 12) THEN 470
170 IF (12 <= Y) AND (Y < 15) THEN 500
180 IF (15 <= Y) AND (Y < 18) THEN
    530
190 IF (18 <= Y) AND (Y < 22) THEN 560
200 IF (22 <= Y) AND (Y < 28) THEN
    590
210 IF (28 <= Y) AND (Y < 40) THEN
    620
220 IF (40 <= Y) AND (Y < 55) THEN
    650
230 IF (55 <= Y) AND (Y < 70) THEN
    680
240 IF Y >= 70 THEN 710
250 !
251 L = .3094 * Y^2 + .182 * Y
252 H = .827 * Y^2 + 1.632 * Y - .181
253 GOTO 750
254 !
260 L = 1.14673 * Y^2 + 1.7576 * Y - .109
270 H = .84155 * Y^2 + 1.5521 * Y + .077
280 GOTO 750
281 !
290 L = 3.38095 * Y^2 - 15.4952 * Y + 33.196
300 H = .78571 * Y^2 + 1.7929 * Y - .183
310 GOTO 750
311 !
320 L = 2.5 * Y^2 - 7.2143 * Y + 13.812
330 H = .82143 * Y^2 + 1.5679 * Y + .119
340 GOTO 750
341 !
350 L = .101 * Y^2 + 16.635 * Y - 45.469
360 H = .04985 * Y^2 + 9.1613 * Y - 18.557
370 GOTO 750
371 !
380 L = 3.35714 * Y^2 - 23.5643 * Y + 78.466
390 H = .22619 * Y^2 + 7.7369 * Y - 16.656
400 GOTO 750
401 !
410 L = .01191 * Y^2 + 21.475 * Y - 72.87
420 H = .79762 * Y^2 - .7321 * Y + 14.610
430 GOTO 750
431 !
440 L = .41858 * Y^2 + 16.1558 * Y - 56.04
450 H = .05794 * Y^2 + 10.5156 * Y - 28.24
460 GOTO 750
461 !
470 L = .88779 * Y^2 + 7.5527 * Y - 16.6
480 H = .26665 * Y^2 + 6.7015 * Y - 10.81
490 GOTO 750
491 !
500 L = .76720 * Y^2 + 10.7972 * Y - 38.18
510 H = .20073 * Y^2 + 8.4658 * Y - 22.49
520 GOTO 750
521 !
530 L = 97305 * Y^5 + 5.3135 * Y - 2.2
540 H = .28889 * Y^2 + 5.9741 * Y - 4.93
550 GOTO 750
551 !
560 L = .97256 * Y^2 + 5.25 * Y - 98
570 H = .24504 * Y^2 + 7.416 * Y - 16.73
580 GOTO 750
581 !
590 L = .91413 * Y^2 + 7.4759 * Y - 21.82

```

```

600 H = .20323 * Y ^ 2 + 9.1267 * Y - 34.23
610 GOTO 750
611 !
620 L = .87031 * Y ^ 2 + 9.7157 * Y - 50.77
630 H = .18411 * Y ^ 2 + 10.1015 * Y - 46.75
640 GOTO 750
641 !
650 L = .84703 * Y ^ 2 + 12.6752 * Y - 133.31
660 H = .17029 * Y ^ 2 + 11.4866 * Y - 80.62
670 GOTO 750
671 !
680 L = .85921 * Y ^ 2 + 11.1009 * Y - 83.19
690 H = .1713 * Y ^ 2 + 11.3680 * Y - 76.94
700 GOTO 750
701 !
710 L = .83531 * Y ^ 2 + 14.6731 * Y - 216.246
720 H = .1684 * Y ^ 2 + 11.8493 * Y - 96.947
730 !
750 IF U >= H THEN 800
760 N = (LGT (H) - LGT (U)) / LGT (Y)
770 Vi = (10 ^ N - 1) / .00715 + 100
771 FIXED 1
780 PRINT "VISCOSITY INDEX = ";
    SPA(2); Vi
790 GOTO 811
800 Vi = (L - U) / (L - H) * 100
801 FIXED 1
810 PRINT "VISCOSITY INDEX = ";
    SPA(2); Vi
811 PRINT
812 PRINT
820 INPUT "ADDITIONAL SOLUTION
    WANTED, IF YES TYPE 1, IF NO
    TYPE 2", R
830 IF R = 1 THEN 30
840 IF R = 2 THEN STOP
850 END
    
```

[program 2 의 output]

```

VISCOSITY AT 40 C = 6.894 cst
VISCOSITY AT 100 C = 2.100 cst
VISCOSITY INDEX = 100.0
VISCOSITY AT 40 C = 5.613 cst
VISCOSITY AT 100 C = 2.150 cst
VISCOSITY INDEX = 249.9
VISCOSITY AT 40 C = 10.070 cst
VISCOSITY AT 100 C = 2.310 cst
    
```

```

VISCOSITY INDEX = .0
VISCOSITY AT 40 C = 12.760 cst
VISCOSITY AT 100 C = 4.350 cst
VISCOSITY INDEX = 299.8
VISCOSITY AT 40 C = 44.440 cst
VISCOSITY AT 100 C = 6.690 cst
VISCOSITY INDEX = 103.0
VISCOSITY AT 40 C = 125.000 cst
VISCOSITY AT 100 C = 8.700 cst
VISCOSITY INDEX = -18.1
VISCOSITY AT 40 C = 115.100 cst
VISCOSITY AT 100 C = 9.990 cst
VISCOSITY INDEX = 50.0
VISCOSITY AT 40 C = 211.900 cst
VISCOSITY AT 100 C = 32.500 cst
VISCOSITY INDEX = 199.0
VISCOSITY AT 40 C = 1980.000 cst
VISCOSITY AT 100 C = 51.600 cst
VISCOSITY INDEX = 44.0
    
```

이상으로 潤滑油의 製造 및 混合에 活用가능한 粘度와 温度 관계 및 混合 潤滑油의 粘度 산정을 전반적으로 분석하여 보았다. 이러한 기술자료가 潤滑油 製造나 混合業 等に 도움이 될 것이라며 본 program 자료가 필요하신 분에게는 제공할 예정이오니 연락바랍니다.

당 연구소에서는 廢潤滑油의 감압증류에 의한 再精製 工程開發에 관한 연구를 수행중에 있어 資源節約과 더불어 産業体와의 상호 기술협력으로 潤滑油 工業의 발전에 일익을 담당할 수 있도록 노력하고자 합니다.

### 참 고 자 료

1. Annual Books of ASTM Standards, Part 23 Petroleum Products and Lubricants (I), 1981.
2. Annual Books of ASTM Standards, Part 24, Petroleum Products and Lubricants (II), 1981.
3. 潤滑ハンドブック, 日本潤滑學會, 1978.
4. E. A. Luinstra, Hydrocarbon Processing 1983, Vol. 62, No. 6, p. 99
5. S. Stournas, Hydrocarbon Processing, 1981, Vol. 60, No. 8, p. 91.